Vol.14, No.1, Spring 2025, pp.61-78 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

Research Article DOI: 10.22067/geoeh.2024.86609.1463 Open Access

Impact of land use types on bioavailable form of heavy metals and soil environmental pollution

Ebrahim Mahmoudabadi[a*], Morteza Akbari[b], Ferydoon Sarmadian[c]

[a]Assistant Professor, Department of Desert and Arid lands Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[b]Associate Professor, Department of Desert and Arid lands Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[c] Professors of Department of Soil Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFO

ARTICLE HISTORY
Received: *30 January 2024*
Received in revised form : *14 June 2024*
Accepted : *23 June 2024*
Available online : *21 March 2025*

Keywords:

SOIL POLLUTION, HEAVY METAL BIOAVAILABILITY, LAND-USE CONVERSION, SOIL ORGANIC CARBON, CHITGAR FOREST PARK, DTPA EXTRACTION, ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY

ABSTRACT

These days, pollution of soils by heavy metals has become an important environmental issue. These pollutants can cause the gradual elimination of beneficial organisms from soils, which may lead to a decrease in biodiversity—a defining characteristic of the dynamics, self-regulation, balance, and stability of soil ecosystems. The total metal concentrations in the environment do not necessarily reflect environmental conditions such as bioavailability and toxicity, as these depend on soil properties. Understanding the effective processes governing the bioavailability of metals can help in modeling and assessing the environmental effects of these elements in the soil.

To investigate the influence of land use type on the bioavailability of Cu, Mn, Fe, and Zn, 116 surface soil samples were collected from Chitgar Forest Park across three land uses: coniferous forest, broadleaved forest, and rangeland. The DTPA- and nitric acid-extractable forms of Cu, Mn, Fe, and Zn, as well as soil properties such as calcium carbonate content, pH, and organic carbon, were measured.

The results of the ANOVA analysis revealed that land use type significantly impacted the bioavailable forms of Cu, Mn, and Zn, whereas the available form of Fe did not differ significantly between the land uses. Additionally, land use type affected soil properties, especially soil organic carbon. Furthermore, the results of the Pearson correlation analysis showed a significant positive correlation between soil organic carbon and some heavy metals, indicating that plantation type and land use influence the availability of heavy metals in these soils.

*.Corresponding author : Dr.Ebrahim Mahmoudabadi E-mail address: Mahmoudabadi@um.ac.ir

How to cite this article: Mahmoudabadi, E., Akbari, M., & Sarmadian, F. (2025). Impact of Land Use Types on Bioavailable form of Heavy Metals and soil Environmental Pollution .*Journal of Geography and Environmental Hazards*, *14*(1), pp.61-78
DOI: https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.86609.1463

Extended Abstract

Introduction
Pollution of soils by heavy metals has become an important environmental issue in recent years. These pollutants can cause the gradual elimination of beneficial organisms from soils, leading to decreased biodiversity—a fundamental factor in maintaining the dynamics, self-regulation, balance, and stability of soil ecosystems. Total metal concentrations in the environment do not necessarily reflect environmental conditions such as bioavailability and toxicity, as these depend on soil properties. Understanding effective processes affecting the bioavailability of metals can help in modeling and understanding the environmental effects of these elements in the soil. Studies have shown varying effects of different land uses on heavy metal concentrations, but research primarily focuses on farming, industry, or urban development. The effects of changing land use on the bioavailable forms of heavy metals remain unclear. This study aims to explore the impact of converting rangeland into broadleaf and needleleaf forests on the concentrations of bioavailable metal forms in soils over 45 years.

Material and Methods

The study area, covering 665 ha in Chitgar Forest Park, western Tehran, includes needleleaf forest (*Pinus eldarica*), broad-leaved forest (*Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus rotundifolia*), and rangeland (*Alhagi maurorum*, *Hordeum murinum*, and other grasses). Stratified grid sampling identified 116 sites (250 × 250 m grid, 0–20 cm depth). Available forms of Zn, Cu, Mn, and Fe were determined using atomic absorption spectroscopy. Soil particle size was measured by the hydrometer method. Organic carbon, nitrogen, and total neutralizing value (TNV) were determined by wet oxidation, Kjeldahl, and volumetric methods, respectively. Electrical conductivity was measured in saturation extracts using an EC meter. The effects of different land-use types on the bioavailability of heavy metals were analyzed using one-way ANOVA.

Results and Discussion

The ANOVA analysis indicated that land-use type significantly influenced the bioavailability of Cu, Mn, and Zn, while Fe availability remained unchanged across different land uses. Soil characteristics, particularly soil organic carbon, were affected by land use, with a substantial positive correlation between soil organic carbon and certain heavy metals identified through Pearson correlation analysis. This suggests that land use and planting practices impact heavy metal concentrations in soils by affecting soil properties. Zn was more prevalent in broadleaf and needleleaf forests, whereas Mn and Cu were highest in rangelands, with rangelands having significantly more available Mn compared to needleleaf forests. Mn availability was influenced by total concentration, clay content, and organic carbon, though $CaCO_3$ reduced the impact of organic matter on Mn availability. Cu levels were highest in rangelands, with availability controlled by total Cu concentration, clay, and TNV. Zn concentrations were highest in broadleaf forests, strongly correlating with organic carbon. Land-use types influenced Zn concentrations through their effect on organic matter. Fe showed significant correlations with soil organic matter but did not differ significantly between land uses.

Conclusion

After forty-five years of converting rangeland into needleleaf and broadleaf forests, this study explored the availability of four heavy metals under three land uses. The results revealed significant differences in the available forms of Zn, Cu, and Mn due to the distinct effects of land-use types on soil properties. Land-use type notably influenced soil characteristics, particularly soil organic carbon. Additionally, Pearson correlation analysis identified a substantial positive relationship between soil organic carbon and heavy metals. These findings underscore the critical role of land use and planting practices in determining heavy metal availability in soils, with important implications for environmental management and agricultural practices.

جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صص ۷۸-۶۱ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.86195.1450 دسترسی آزاد

تاثیر کاربری اراضی بر قابلیت جذب فلزات سنگین و آلودگی محیطی خاک

ابراهیم محمودآبادی [1*]، مرتضی اکبری [2]، فریدون سرمدیان [3]

[1] استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[2] دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[3] استاد گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۳

کلمات کلیدی:

آلودگی خاک

زیست فراهمی فلزات سنگین

تغییر کاربری اراضی

کربن آلی خاک

پارک جنگلی چیتگر

استخراج باDTPA

طیف‌سنجی جذب اتمی

چکیده

آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین، یکی از مخاطرات مهم محیطی است که بر ویژگی اکوسیستم‌ها تاثیر گذاشته و تنوع زیستی که شرط اصلی پویایی، تعادل و پایداری اکوسیستم می‌باشد، را با مشکلات جدی روبرو می‌سازد. بنابراین، شناخت عوامل مهم در قابلیت جذب فلزات سنگین می‌تواند در مدل‌سازی و فهم تاثیرات این فلزات در خاک حائز اهمیت باشد. در پژوهش حاضر به منظور بررسی تاثیر نوع کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک و همچنین قابلیت جذب فلزات سنگین روی، مس، منگنز و آهن، در سال ۱۳۹۰، تعداد ۱۱۶ نمونه خاک از سه کاربری جنگل پهن‌برگ، سوزنی‌برگ و مرتع در پارک چیتگر در غرب تهران، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش فرم قابل جذب فلزات مس، روی، آهن و منگنز و همچنین ویژگیهای درصد کربن آلی، بافت خاک، PH و درصد کربنات کلسیم نیز اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع کاربری بر مقدار منگنز، روی و مس قابل جذب اثر معنی‌داری داشت به‌طوری که مقدار روی(۴/۴۴mg/kg) در کاربری پهن‌برگ، ۲/۵ برابر نسبت به مرتع بیشتر بود. در حالی که مقدار آهن قابل جذب در بین سه نوع کاربری اختلاف معنی‌دار نشان نداد. همچنین، نوع کاربری بر خصوصیات خاک از جمله مقدار کربن آلی نیز تاثیرگذار بود. از طرف دیگر، نتایج آنالیز همبستگی بین مقادیر کربن آلی خاک و برخی از فلزات سنگین همبستگی بالایی به‌ویژه با مقدار روی قابل جذب (۰/۷۶) نشان داد. بنابراین، تغییر کاربری و کاشت جنگل از طریق تاثیر بر ویژگیهای خاک به‌ویژه تاثیر بر مقدار ماده آلی بر زیست‌فراهمی فلزات موثر بود.

* نویسنده مسئول: دکتر ابراهیم محمودآبادی E-mail: Mahmoudabadi@um.ac.ir

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات اساسی زیست بوم است و مدیریت خاک‌های آلوده به این فلزات یکی از چالش‌های عمده‌ی محیط زیست به شمار می‌آید. در یک قرن گذشته (دوره آنتروپوسن) فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و توسعه شهری سبب ورود مقادیر زیادی از آلاینده‌ها به خاک شده که سلامتی میلیون‌ها انسان را در سراسر کره زمین به مخاطره انداخته است (Aluko, Njoku, Adesuyi & Akinola, 2018; Mishra et al, 2019; Cocheci et al, 2019). به طوریکه، عمده‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک، مربوط به فعالیت‌های صنعتی است که شامل؛ معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت و تولید انرژی، تخلیه فاضلاب و انهدام زباله می‌باشند. علاوه برآن، کاربرد آفت‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب مصرفی نیز از منابع مهم آلاینده خاک در بخش کشاورزی به شمار می‌رود (Nasrian, Akbari, Faridhosseini & Neamatollahi, 2022; Qin et al., 2021; Zhang et al., 2023). این فلزات می‌توانند از طریق گیاهان، جذب و وارد چرخه غذایی گردند. اگر چه حضور بعضی از این عناصر در حد جزئی و کم در زنجیره غذایی انسان و موجودات زنده ضروری می‌باشد، اما در غلظت‌های بیش از حد مجاز، مشکلات گوناگونی محیطی و زیستی همچون مسمومیت و سرطان را به همراه خواهد داشت (Kamunda, Mathuthu & Madhuku, 2016; Kashtabeh, Akbari, Heidari & Najafpour, 2023). غلظت کل فلز در خاک ضرورتاً درجه سمیت یا زیست فراهمی‌اش را منعکس نمی‌کند. زیرا زیست‌فراهمی فلزات سنگین بطور زیادی به شرایط محیطی منطقه بستگی دارد (Palansooriya et al., 2020). این موضوع ارزیابی دقیق مقدار خطر ایجاد شده بوسیله فلزات را مشکل می‌کند. به عنوان مثال زیست‌فراهمی کادمیم و فلزات سمی در خاک به وسیله غلظت کل و فاکتورهای خاکی از قبیل pH (Hussain, Ashraf, Abbas, Li & Farooq, 2021; Yang et al., 2024) مقدار ماده آلی و مقدار رس خاک (Palansooriya et al., 2020; Cao et al., 2022; Yang et al., 2024) و درصد کربنات خاک (Renella et al., 2004; Palansooriya et al., 2020) کنترل می‌گردد. تغییر شرایط محیطی از قبیل تغییر نوع کاربری زمین و تغییر اقلیم و همچنین اشباع خاک توسط فلز بیش از ظرفیت بافری آن می‌تواند باعث تحرک فلزات سنگین در خاک گردد (Huang & Jin, 2008; He et al., 2023).

پژوهش‌های زیادی، تاثیر نوع کاربری را بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک گزارش کرده‌اند (Masha, Belayneh, Bojago, Tadiwos & Dessalegn, 2023; Molla, Getnet & Mekonnen, 2022; Asmare, Abayneh, Yigzaw & Birhan, 2023). برای مثال در مطالعه‌ای که توسط بوسی و همکاران (Busse et al., 2009)، انجام شده است، مشخص گردید که خاک‌های جنگلی با ترسیب کربن سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله حاصلخیزی رویشگاه و بهبود ساختمان‌سازی شده است. کامپین و همکاران (Kumpiene, Lagerkvist & Maurice, 2008) نیز نشان دادند که مواد آلی با داشتن گروه‌های عاملی نظیر،

کربونیل‌ها، فنیلها، هیدروکسیدها و آمین‌ها قادرند با فلزات سنگین وارد واکنش شوند. در مطالعه انجام شده توسط مارچاند و همکاران (Marchand, Allenbach & Lallier-Vergès, 2011)، در مورد رابطه بین پراکنش فلزات سنگین و چرخه مواد آلی در رسوبات جنگل ماندابی، جنگل تخریب شده حرا[1] و زمین‌های بایر اطراف آن، رفتار فلزات کرم، مس و نیکل در خاک در ارتباط با مقدار کربن آلی خاک بوده است. که این موضوع نیز توسط چن و همکاران (Chen, Kao, Chen & Dong, 2007)، در جنگل‌های تایوان بررسی شده است. امینی و همکاران (Amini, Khademi, Afyuni & Abbaspour, 2005)، در بررسی نوع کاربری اراضی بر میزان کادمیوم قابل جذب، نشان دادند که نوع کاربری بر میزان جذب کادمیوم تاثیر نداشته است. اما قشلاقی و همکاران (Qishlaqi, Moore & Forghani, 2009)، در مطالعه خود نشان دادند که مقدار فلزات سنگین در خاک سطحی در دو نوع کاربری از نظر آماری تفاوت معنی‌داری داشته و میانگین فلزات سنگین در خاک سطحی زراعی بیشتر از خاک چمنزار بود. نتایج آنها نشان داد که نیکل، کرم، آهن، منگنز و مقدار رس تحت تاثیر منابع زمین‌شناسی بوده است. در بررسی کائو و همکاران (Cao et al., 2022) نیز که تفاوت معنی داری در کاربری های مختلف از نظر مقدار قابل جذب عناصر سنگین وجود داشت که دلیل آن به تفاوت در میزان مواد آلی خاک نسبت داده شد. در جنگل‌های کارپانتیانس اوکراین، جنگل بلوط آلودگی بیشتری نسبت به جنگل راش و جنگل همیشه‌سبز نشان داده که این به دلیل محل صنایع آن منطقه بوده است. به طوریکه سه عنصر نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک جنگل سوزنی‌برگ بیشتر از جنگل بلوط و سپس جنگل راش دیده شده است (Shparyk & Parpan, 2004). در مقایسه مقدار کربنات کلسیم در کاربری های مختلف می توان به مطالعه توفا و همکاران (Tufa, Melese & Tena, 2019) اشاره نمود که در پژوهش خود نشان دادند که دو کاربری اراضی جنگلی و علفزار نسبت به اراضی کشت شده و چرا شده به طور معنی‌داری مقدار کربنات کلسیم بیشتری دارند. به طوریکه بالا بودن مقدار کربنات کلسیم در خاک می‌تواند باعث افزایش pH خاک نیز بشود (Fageria & Baligar, 2008).

بنابراین، شناخت فرایندهایی که بتواند حرکت فلزات سنگین و قابلیت استفاده آنها را برای گیاهان در خاک کنترل نماید، برای پیش بینی تاثیرات محیطی فلزات سنگین ضروری است (El Fadili, Ali, Rahman, El Mahi & Louki, 2024). با توجه به مطالعات گذشته می‌توان پی برد که ویژگیهای خاک از قبیل pH، مقدار و نوع کانیهای رسی، مقدار و نوع ماده آلی و مقدار رطوبت و ترکیب محلول خاک، واکنش‌های رسوب و فراهمی فلزات را در محلول خاک تعیین می‌کنند (Kumpiene et al., 2008; Qin et al., 2021). از طرف دیگر این ویژگی ها تحت تاثیر نوع کاربری اراضی قرار دارند. اگرچه تاثیر کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک به خوبی شناخته شده است و همچنین مطالعات زیادی بر روی تاثیر کاربری اراضی بر مقدار کل فلزات سنگین انجام گرفته است، با این حال تاکنون مطالعات کمی در ارتباط با تاثیر کاربری اراضی بر فرم قابل جذب فلزات سنگین در یک ناحیه صنعتی و مسکونی شهری صورت گرفته است. لذا، این مطالعه با هدف بررسی تاثیر کاربری اراضی بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و همچنین فرم قابل جذب چهار فلز روی، مس، منگنز و آهن در پارک جنگلی چیتگر که در منطقه مسکونی و در کنار ناحیه صنعتی در شهر تهران بود، صورت گرفت.

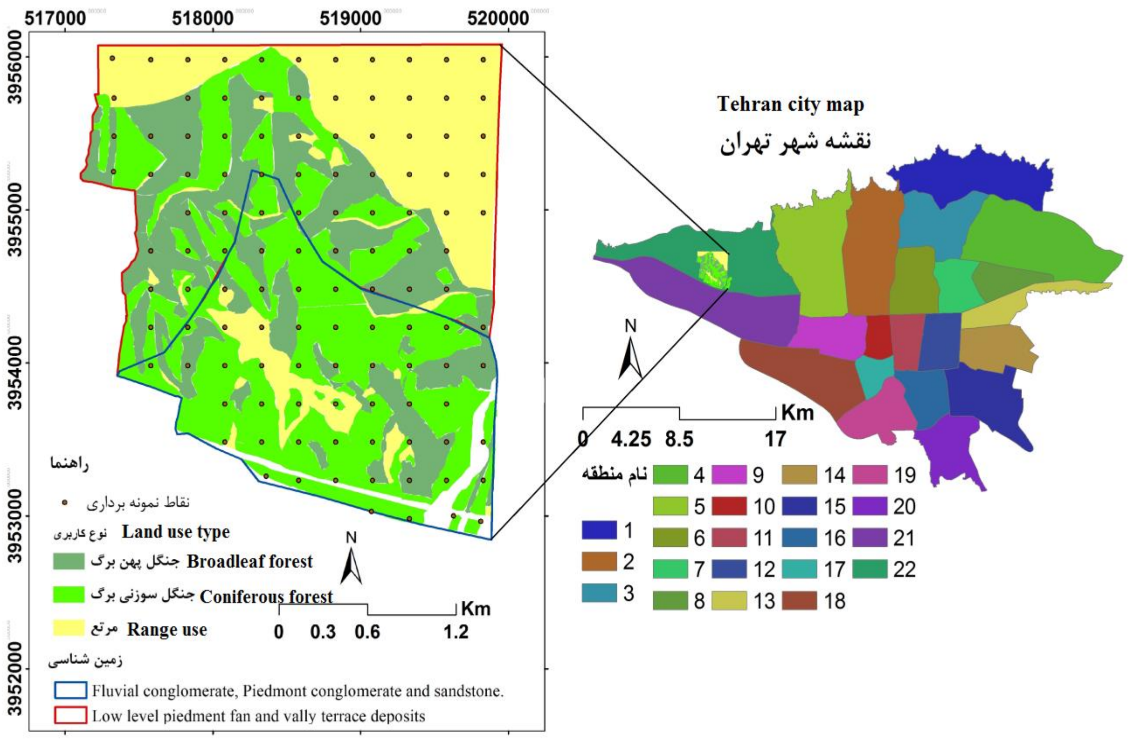
1 Avicennia sp

معرفی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه‌ای به وسعت حدود ۷۰۰ هکتار واقع شده در طول جغرافیایی 51°11'30.07"E تا 51°13'9.34"E و عرض جغرافیایی 35°43'14.17"N تا 35°44'51.71"N در غرب شهر تهران و در بخشی از پارک جنگلی چیتگر به همراه زمین‌های اطراف آن بود. پارک چیتگر در کنار اراضی مسکونی منطقه ۲۲ تهران و در کنار ناحیه صنعتی واقع شده در بین کرج و تهران قرار گرفته است. اراضی منطقه بر روی سازند هزار دره واقع شده‌اند. سازند هزار دره از کنگلومرای همگن یا قلوه‌سنگ، شن و ریگ تشکیل شده است و فضای میان دانه‌ها را ماسه و سیلت و رس پر کرده است. این سازند سیلابی بوده ولی در حال حاضر مورفولوژی رودخانه اصلی آن قابل تشخیص نیست. از نظر شیب منطقه چیتگر در نقاط مختلف خود دارای پستی و بلندیهای بسیار است که در ارتباط با مناطق مختلف، نوسانات شیب زیاد است و تا ۸۰ درصد می‌رسد. خاکهای منطقه با رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک در دو رده اریدیسول و انتی‌سول رده بندی شدند. کاربری اراضی قبل از سال ۱۳۴۵ به صورت مرتع بوده و بعد از ایجاد پارک در قسمتهای مختلف آن کاشت درختان پهن برگ و سوزنی برگ صورت گرفته است(Pour Hashemi, 1997).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، سه نوع کاربری شامل؛ مرتع، جنگل پهن برگ و جنگل سوزنی برگ انتخاب و نمونه برداری از عمق سطحی خاک (۰-۲۰ سانتیمتر) با فاصله ۲۵۰ متر از یکدیگر و به شکل شبکه منظم از این سه کاربری صورت گرفت (شکل ۱). در مجموع از تعداد ۱۱۶ نمونه خاک سطحی برداشته شده، از کاربری جنگل پهن‌برگ ۲۹ نمونه خاک، از کاربری مرتع ۳۲ نمونه و ۵۵ نمونه از کاربری جنگل سوزنی‌برگ بدست آمد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شهر تهران، نقشه نوع کاربری و زمین شناسی و مکان نمونه‌برداری

Fig.1. Geographical location of the study area in Tehran, land use type and geological map, and sampling location

آنالیزهای آزمایشگاهی و آماری

در ابتدا، در آزمایشگاه پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها، کوبیده و از الک با مش ۱۰ عبور داده شدند و سپس میزان ماده آلی با روش والکی بلاک، بافت خاک با روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی و واکنش خاک در عصاره اشباع توسط هدایت سنج و pH متر، مقدار نیتروژن کل خاک با روش کجلدال در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند (Pansu, 2006). برای تعیین میزان فرم قابل جذب فلزات روی، منگنز، مس و آهن از روش عصاره‌گیری با DTPA[1] به روش لیندزی صورت گرفت (Lindsay & Norwell, 1978). همچنین برای اندازه‌گیری فرم کل عناصر از اسید نیتریک ۴ نرمال برای عصاره‌گیری از نمونه‌ها استفاده شد و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (AA. 670) Shimadzu مقدار فلزات روی، مس، آهن و منگنز اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در محیط نرم افزاری SPSS v16 صورت گرفت بدین صورت که ابتدا با توجه به چولگی و نتایج تست

1 Diethylene triamine pentaacetic acid

نرمالیتی کولوموگروف اسمیرنوف نرمال بودن داده ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس تاثیر کاربری اراضی بر ویژگیهای خاک و فلزات سنگین طبق طرح کاملا تصادفی نامتعادل و از طریق جدول تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. ارتباط و تاثیر ویژگیهای خاک با زیست فراهمی فلزات با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون صورت گرفت.

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌ها، توصیف‌های آماری آنها شامل میانگین، واریانس، مقادیر ماکزیمم و مینیمم، کشیدگی، چولگی و درصد ضریب تغییرات صورت گرفت که نتایج آماری مربوط به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاکهای مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به چولگی و نتایج تست نرمالیتی کولوموگروف اسمیرنوف مشخص شد که تمامی خصوصیات مورد بررسی به جز PH خاک و نسبت کربن به نیتروژن از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. بنابراین تغییر شکل داده‌ها به شکل لگاریتمی و ریشه مربعات به منظور نرمال سازی صورت گرفت.

جدول ۱-خلاصه آماری مربوط به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی و مقادیر قابل جذب فلزات سنگین خاک

Table 1- Summary of Statistics on Soil Chemical and Physical Properties and Heavy Metals

ضریب تغییرات Coefficient of variation	کشیدگی Erratum	چولگی Skewness	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	ماکزیمم Max.	مینیمم Min.	تعداد Num.	متغیر Variable
0.35	1.57	1.16	7.47	22.09	45	10.72	116	رس Clay
0.03	-0.45	-0.12	0.06	8.37	8.90	7.80	116	pH
0.77	0.05	1.04	0.68	1.08	3.10	0.09	116	درصد کربن آلی Organic carbon %
0.45	-0.39	0.31	17.61	9.34	20.53	1.33	116	نسبت C:N*
0.52	-0.01	0.84	5.32	10.24	25.53	2.87	116	$CaCO_3$**
28.07	-0.84	-0.14	1.25	4.00	6.53	1.60	116	Fe(mg/kg)
24.30	-0.17	0.50	31.92	16.47	31.92	5.70	116	Mn(mg/kg)
32.65	-0.12	0.70	0.08	0.87	1.60	0.42	116	Cu(mg/kg)
63.63	-1.24	0.42	4.49	3.33	7.80	0.40	116	Zn(kg/kg)

* نسبت کربن به نیتروژن **کربنات کلسیم معادل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک طرفه فاکتورهای خاک نشان داد که درصد کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن و درصد اندازه ذرات در سطح یک درصد در بین کاربری‌ها معنی‌دار بود ($p<0.01$). همچنین درصد کربنات کلسیم خاک نیز در بین سه نوع کاربری تفاوت معنی‌داری ($p<0.05$) نشان داد. این در حالی بود که مقدار pH اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). در مورد مقدار فلزات سنگین نیز مقدار مس، روی و منگنز در بین کاربری‌ها اختلاف معنی‌دار ($p<0.01$) نشان داد ولی برای مقدار آهن قابل جذب اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌ها مشاهده نگردید.

جدول ۲- آنالیز واریانس یک طرفه صفات و مقدار قابل جذب فلزات خاک در کاربری‌های مختلف

Table 2- Analysis of variance of soil properties and available heavy metal in different land uses

منابع تغییرات Sources of changes	درصد رس Percentage of clay	pH	OC	C/N	$CaCO_3$	Fe	Mn	Cu	Zn
پوشش Cover	874.1**	0.015	51.295**	19.74**	107.8*	3	11.695**	0.625**	5.8**
خطا Error	45.8	0.057	0.011	14.36	26.85	1.35	34.18	0.08	0.089
ضریب تغییرات Coefficient of Variation	30.63	2.85	33.7	40.56	50.6	2.98	35.5	34.3	33.06

*و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

اثر نوع کاربری بر خصوصیات شیمیایی خاک

بر اساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) دو کاربری جنگل سوزنی برگ و پهن برگ در مقدار میانگین خصوصیات شیمیایی مورد بررسی به جز درصد کربن آلی خاک تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. اما مقدار کربن آلی خاک در هر سه کاربری تفاوت معنی‌دار نشان داد بر این اساس بیشترین مقدار کربن در کاربری جنگل پهن‌برگ با میانگین ۲/۷ بود که نسبت به کاربری سوزنی برگ با میانگین ۱/۶ و کاربری مرتع با میانگین ۰/۸ اختلاف معنی‌داری نشان داد.

جدول ۳-مقایسه میانگین مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین خاک در انواع کاربری‌ها

Table 3– Comparison of mean of physical and chemical properties and metals in different land uses

نوع کاربری Land use type	pH	$CaCO_3$	OC	C:N	درصد رس Percentage of clay	مس Cu	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn
کاربری مرتع Range use	8.4a	8.1b	0.8c	6.3b	28.4a	1.03a	4.00a	18.69a	1.71b
جنگل پهن‌برگ Broadleaf forest	8.4a	11.7a	2.7a	11.2a	19.4b	0.83b	3.65a	16.62ab	4.44a
جنگل سوزنی‌برگ Coniferous forest	8.3a	10.8a	1.6b	10.0a	19.9b	0.79b	4.18a	15.10b	3.68a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) می‌باشند.

به دلیل بالا بودن میزان نیتروژن در کاربری پهن برگ به دلیل وجود گونه‌های تثبیت کننده ازت نظیر اقاقیا، نسبت کربن به نیتروژن در این کاربری با جنگل سوزنی برگ اختلاف معنی‌داری نشان نداد. اما این دو کاربری نسبت به کاربری مرتع درصد کربن به نیتروژن بالایی نشان دادند. این موضوع در مطالعات هی و همکاران (He et al., 2023)، نیز اشاره شده است که نسبت کربن به نیتروژن خاک می‌تواند تحت تاثیر نوع جامعه گیاهی مستقر بر روی خاک باشد و در مناطق با پوشش درختی نسبت به نواحی بوته زار این نسبت نیز بیشتر خواهد بود.

در ارتباط با میزان کربنات کلیسم، نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین درصد کربنات کلسیم مربوط به کاربری جنگل پهن‌برگ و سوزنی بوده است که با کاربری مرتع تفاوت معنی‌داری نشان دادند. نتایج مطالعات توفا و همکاران (Tufa et al,. 2019)، نیز این موضوع را تایید می‌کنند که مقدار کربنات کلسیم در کاربری‌های مختلف، متفاوت بوده و در اراضی با کاربری جنگل و علفزار نسبت به اراضی کشت شده و چرا شده مقدار کربنات کلسیم به طور معنی‌داری بیشتر دیده شده است.

در ارتباط با درصد رس، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین درصد رس خاک مربوط به کاربری مرتع است که نسبت به دو کاربری دیگر اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

تاثیر کاربری بر مقدار قابل جذب فلزات سنگین

بر اساس جدول تجزیه واریانس، به جز آهن قابل جذب، سه نوع کاربری از نظر مقدار غلظت منگنز، روی و مس اختلاف معنی دار نشان دادند. بر اساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، بیشترین غلظت منگنز قابل جذب در بین کاربری‌ها، در کاربری مرتع بود که این کاربری با کاربری جنگل پهن برگ اختلاف معنی‌دار نشان نداد ولی با کاربری سوزنی برگ تفاوت معنی‌دار داشت. همچنین مقدار مس قابل جذب نیز در کاربری مرتع بالاترین غلظت را نشان داد به طوری که نسبت به دو کاربری جنگل سوزنی و پهن برگ اختلاف معنی‌دار بود. ولی بین کاربری جنگل سوزنی و جنگل پهن‌برگ اختلاف معنی‌داری دیده نشد. مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA با مقدار رس خاک ضریب رگرسیونی بالایی نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات خاک و مقادیر قابل جذب فلزات سنگین

Table 4- Pearson correlation coefficients between soil properties and available heavy metal concentrations

	pH	CaCO3	Clay	OC	C/N	Zn	Cu	Mn	Fe
pH	1								
CaCO3	0.184ns	1							
Clay	0.117ns	-0.049ns	1						
OC	0.063ns	.232*	-.195*	1					
C/N	0.127ns	.239*	-.223*	.762**	1				
Zn	-0.004ns	.197*	-.251**	.762**	.611**	1			
Cu	.227*	-.316**	.494**	0.087ns	-0.031	.197*	1		
Mn	0.111ns	-.215*	.452**	.206*	0.126ns	.307**	.560**	1	
Fe	0.099ns	-.275**	0.026ns	.218*	0.14ns	.394**	.345**	.496**	1

*و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

بر اساس ضریب همبستگی پیرسون فرم قابل استخراج با DTPA منگنز همبستگی شدیدی با مقدار کل منگنز خاک نشان داد. همچنین همبستگی بین مقدار رس خاک و مقدار کل منگنز بسیار شدید و معنی‌دار بود. از طرفی درصد رس خاک در کاربری مرتع بالا بود که این امر سبب افزایش زیست فراهمی منگنز در خاک شده است. بنابراین همبستگی مثبت بین مقدار رس خاک و فرم قابل استخراج با DTPA را می‌توان به همبستگی مقدار کل منگنز و رس خاک نسبت داد. تحقیقات زیادی تاثیرپذیری زیست فراهمی فلزات سنگین را از مقدار کل آنها در خاک نشان داده‌اند (Peijnenburg et al., 2020; Zhu, Ji, Tang, Wang & Sun, 2023). مقدار فراهمی مس را می‌توان ناشی از خصوصیات ذاتی خاک و تاثیر کاربری عنوان نمود. به نظر می‌رسد تاثیر کاربری از طریق تاثیر بر مقدار کربنات کلسیم باعث تغییر در فراهمی عنصر مس در خاک شده است. مقدار مس قابل استخراج با DTPA با فاکتور درصد رس و مقدار کربنات کلسیم بر اساس رگرسیون گام به گام بیشترین همبستگی را نشان داد. که این ضریب برای درصد رس مثبت و برای مقدار کربنات کلسیم منفی به دست آمد. با توجه به همبستگی بالای مقدار مس کل و مس قابل استخراج با DTPA، همچنین همبستگی مثبت و شدید این عنصر با مقدار رس و همچنین همبستگی منفی مقدار مس و کربنات کلسیم را در ارتباط با مقدار کل مس در کانی‌های رسی و کم بودن مقدار مس در کانی‌های حاوی کربنات دانست. همبستگی مثبت و شدید بین مقدار منگنز و مس قابل جذب نیز منشا یکسان را برای این دو عنصر در خاکهای این منطقه نشان می‌دهد. زین و همکاران (Zinn, de Faria, de Araujo & Skorupa, 2020)، نشان دادند که مواد مادری سهم بسیار مهمی در مقادیر قابل جذب فلزات سنگین در خاک دارند. به نظر می‌رسد رس خاک از طریق کاهش آبشویی مس و منگنز نیز باعث افزایش این عناصر در خاک شده است همبستگی شدید فرم قابل جذب و مقدار منگنز کل خاک نیز تایید کننده این امر می‌باشد. پیجینبرگ و همکاران (Peijnenburg et al., 2020)، اظهار داشتند که بیشترین میزان انتقال فلزات سنگین در خاک‌های شنی اسیدی با میزان مواد آلی کم وجود دارد که فاکتورهای

تأثیرگذار بر روی تحرک فلزات سنگین در خاک، مثل رس‌ها، شدت بارندگی یا آبیاری، میزان مواد آلی خاک و اسیدیته محلول در کاهش آبشویی موثر باشند.

در مورد عنصر روی قابل جذب بر اساس جدول مقایسه میانگین، بیشترین غلظت این عنصر در جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مشاهده گردید. در حالی که این دو کاربری اختلاف معنی‌داری در مقدار روی قابل جذب در خاک خود نشان ندادند ولی هر دو کاربری نسبت به کاربری مرتع مقدار بیشتری را نشان دادند با توجه به جدول ۴ ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک و فرم قابل جذب روی وجود داشت. مقدار تجمع بالاتر کربن آلی در کاربری‌های جنگل سوزنی‌برگ و پهن‌برگ را می‌توان دلیل بالاتر بودن روی قابل جذب در این دو کاربری دانست. اثر مواد آلی بر روی فلزات سنگین، بسته به ترکیبات آن‌ها و فرآیندهایی که ممکن است در اثر اضافه کردن این مواد ایجاد گردد با هم متفاوت است. جذب یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده غلظت روی در خاک‌ها بوده و تحت تأثیر عواملی مانند PH، نوع کانی رس، CEC، مواد آلی خاک و نوع خاک است (Bradl, 2004; Ondrasek & Rengel, 2012; Younas, Fatima, Ahmad & Ayyaz, 2023). ادو و همکاران(Udo, Bohn & Tucker, 1970)، و تانهان همکاران (Tanhan, Kruatrachue, Pokethitiyook & Chaiyarat, 2007)، همبستگی زیادی بین روی خاک و مقدار مواد آلی مشاهده کردند و نتیجه گرفتند که مواد آلی یک جزء مهم در نگهداری روی در خاک‌های آهکی است. اما از طرفی پیوند قوی فلز به یک ماده آلی با جرم مولکولی کم مانند اسید فولویک، به‌طور محسوسی حلالیت و تحرک فلز را در خاک افزایش می‌دهد (Holm et al., 1998). کلیک و همکاران (Klik, Gusiatin & Kulikowska, 2021)، نشان دادند که ترکیبات آلی و مواد هیومیک حلال موجود در لجن فاضلاب از طریق ایجاد کلات به مقدار زیادی در انحلال عنصر روی موثر بودند. سینگ و همکاران(Singh, Mohan, Sinha & Dalwani, 2004)، گزارش کردند که مقادیر روی، مس، آهن و منگنز در خاک تیمار شده با کود دامی به شدت افزایش می‌یابد. مقدار روی قابل استخراج با DTPA در دو کاربری جنگل سوزنی‌برگ و جنگل پهن‌برگ با مقدار کربن آلی ضریب رگرسیونی بالایی را نشان داد که این موضوع توسط برادل (Bradl, 2004) به این صورت توضیح داده شده که عوامل کی‌لیت‌کننده نقش مهمی در تحریک روی خاک دارند. وانگ و همکاران (Wang, Xu, Fu & Chen, 2021) بیان داشتند که عوامل کی‌لیت‌کننده مواد آلی قدرت بالایی در استخراج فلزات در پیوند با کربناتها و کانیهای خاک دارند. این فلزات در حالت عادی به دلیل پیوند یونی قوی که با کانیهای خاک مثل کربناتها دارند، تثبیت شده اند و عوامل کلیت کننده قادر به استخراج و جداسازی آنها از خاک می باشند. حضور اسیدهای آلی در محلول خاک باعث کاهش جذب روی توسط خاک شده، روی با مولکولهای آلی تشکیل کمپلکس‌های پایداری می‌دهد بنابراین تمایل روی برای جذب توسط سایت‌ها کاهش می‌یابد و باعث افزایش مقدار روی قابل استخراج با DTPA می‌شود. کائو و همکاران (Cao et al., 2022) نیز ماده آلی را به عنوان مهمترین حامل فرم حل شده فلزات سنگین عنوان کردند. به طوری که کاربری جنگل به دلیل کمتر بودن ماده آلی نسبت به شالیزار مقدار کمتری از فرم قابل جذب فلزات سنگین را داشت. بر اساس مطالعات لی و همکاران (Li, Liang, Han & Yang, 2013) و تائو و همکاران (Tao, Hou, Yang & Li, 2016)، ترشحات ریشه گیاه

در بیشتر موارد از طریق کاهش pH خاک، تغییر پتانسیل ردوکس خاک و کمپلکس شدن با لیگاندهای آلی، تحرک فلزات سنگین را در خاک افزایش می دهد و نوع کاربری متفاوت به دلیل پوشش گیاهی متفاوت می تواند نوع و مقدار ترشحات ریشه را تحت تاثیر قرار دهد و بر مقدار فراهمی عناصر سنگین موثر واقع شود.

در بررسی اثر کاربری بر مقدار آهن قابل جذب، هرچند آهن قابل جذب در کاربری سوزنی برگ غلظت بالاتری نشان داد اما اختلاف بین کاربری‌ها معنی‌دار نبود. با مراجعه به جدول ضریب همبستگی (جدول ۴) مقدار آهن قابل جذب فقط با مقدار کربنات کلسیم همبستگی معنی‌داری را نشان داد. با توجه به این موضوع تغییرات مقدار آهن قابل جذب در سطح منطقه را باید تحت تاثیر فاکتورهایی دانست که در سطح منطقه یکسان عمل کرده‌اند و وابسته به نوع کاربری اراضی نیستند که این فاکتورها غلظت آهن قابل جذب را کنترل می‌کنند. بنابراین مقدار فرم قابل جذب آهن را می‌توان به مقدار یکسان آهن در کانیهای سطح منطقه نسبت داد.

نتیجه گیری

جنگل کاری در منطقه مورد مطالعه باعث تغییر در ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه شده بود. به طوری که تاثیر جنگل پهن برگ نسبت به جنگل سوزنی برگ مشهودتر بود. تغییر کاربری مرتع به جنگل باعث افزایش مقدار کربن آلی و مقدار نیتروژن کل در هر دو نوع جنگل سوزنی برگ و پهن برگ شده بود. اثر کاربری بر مقدار کربنات کلسیم نیز معنی‌دار بود. در مجموع تاثیر کاربری بر این خصوصیات باعث تغییر در فراهمی عناصر روی، مس و منگنز در خاک شده بود. در حالی که اثر کاربری اراضی بر مقدار آهن قابل جذب تاثیر نداشت و این عنصر تحت تاثیر خصوصیات ذاتی خاک قرار داشت. نتایج این پژوهش بیانگر آنست که نوع کاربری بیشترین تاثیر را بر عنصر روی داشت. کاشت درخت و در نتیجه افزایش مقدار کربن آلی خاک در کاربری جنگل پهن برگ و سوزنی برگ سبب افزایش قابل توجه زیست فراهمی روی نسبت به کاربری مرتع شده بود. مقدار منگنز و مس خاک نیز به صورت توامان از کاربری اراضی و خصوصیات ذاتی خاک تاثیر پذیرفته بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در صورت تغییر کاربری اراضی از شرایط طبیعی و مرتعی به درختکاری و جنگلکاری مقدار فرم قابل جذب فلزات سنگین در خاک می‌تواند تغییر کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌ریزی تغییرکاربری اراضی به خصوص اراضی نزدیک به نواحی صنعتی که قرار است در آینده درجهت تولید محصول استفاده شوند، پتانسیل افزایش مقدار قابلیت جذب فلزات سنگین با تغییر کاربری در نظر گرفته شود.

References

Aluko, T., Njoku, K., Adesuyi, A., & Akinola, M. (2018). Health risk assessment of heavy metals in soil from the iron mines of Itakpe and Agbaja, Kogi State, Nigeria. *Pollution*, *4*(3), 527-538. https://doi.org/10.22059/poll.2018.243543.330

Amini, M., Khademi, H., Afyuni, M., & Abbaspour, K. C. (2005). Variability of available cadmium in relation to soil properties and landuse in an arid region in central Iran. *Water, Air, and Soil Pollution*, *162*, 205-218. https://doi.org/10.1007/s11270-005-6273-4

Andersen, M. K., Refsgaard, A., Raulund-Rasmussen, K., Strobel, B. W., & Hansen, H. C. (2002). Content, distribution, and solubility of cadmium in arable and forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, *66*(6), 1829-1835. https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1829

Asmare, T. K., Abayneh, B., Yigzaw, M., & Birhan, T. A. (2023). The effect of land use type on selected soil physicochemical properties in Shihatig watershed, Dabat district, Northwest Ethiopia. *Heliyon*, *9*(5). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16038

Bradl, H. B. (2004). Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, *277*(1), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.04.005

Busse, M. D., Sanchez, F. G., Ratcliff, A. W., Butnor, J. R., Carter, E. A., & Powers, R. F. (2009). Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues. *Soil Biology and Biochemistry*, *41*(2), 220-227. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.012

Cao, L., Li, W., Deng, H., Wang, W., Liang, Y., Wei, Z., ... & Tan, W. (2022). Effect of land use pattern on the bioavailability of heavy metals: A case study with a multi-surface model. *Chemosphere*, *307*,135842. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135842

Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F., & Dong, C. D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, *66*(8), 1431-1440. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.030

Cocheci, R. M., Ianos, I., Sarbu, C. N., Sorensen, A., Saghin, I., & Secareanu, G. (2019). Assessing environmental fragility in a mining area for specific spatial planning purposes. *Moravian Geographical Reports*, *27*(3), 169-82. https://doi.org/10.2478/mgr-2019-0013

El Fadili, H., Ali, M. B., Rahman, M. N., El Mahi, M., & Louki, S. (2024). Bioavailability and health risk of pollutants around a controlled landfill in Morocco: Synergistic effects of landfilling and intensive agriculture. *Heliyon*, *10*(1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23729

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, *99*, 345-399. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0

He, J., Chen, B., Xu, W., Xiang, C., Kuang, W., & Zhao, X. (2023). Driving factors for soil C: N ratio in woody plant communities across northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Catena*, *233*, 107504. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107504

Holm, P. E., Christensen, T. H., Lorenz, S. E., Hamon, R. E., Domingues, H. C., Sequeira, E. M., & McGrath, S. P. (1998). Measured soil water concentrations of cadmium and zinc in plant

pots and estimated leaching outflows from contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, *102*, 105-115. https://doi.org/10.1023/A:1004964200904

Huang, S. W., & Jin, J. Y. (2008). Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. *Environmental Monitoring and Assessment*, *139*, 317-327. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9838-4

Hussain, B., Ashraf, M. N., Abbas, A., Li, J., & Farooq, M. (2021). Cadmium stress in paddy fields: effects of soil conditions and remediation strategies. *Science of The Total Environment*, *754*, 142188. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142188

Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press, Boca Raton.

Kamunda, C., Mathuthu, M., & Madhuku, M. (2016). Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(7), 663. https://doi.org/10.3390/ijerph13070663

Kashtabeh, R., Akbari, M., Heidari, A., & Najafpour, A. (2023). Impact of Iron Ore Mining on the Concentration of some Heavy Metals and Soil Pollution Zoning (Case Study: Sangan Iron Ore Mine, Khaf-Iran). *Water and Soil*, *37*(1), 77-94. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79471.1219

Klik, B., Gusiatin, Z. M., & Kulikowska, D. (2021). A holistic approach to remediation of soil contaminated with Cu, Pb and Zn with sewage sludge-derived washing agents and synthetic chelator. *Journal of Cleaner Production*, *311*, 127664. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127664

Kumpiene, J., Lagerkvist, A., & Maurice, C. (2008). Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments–a review. *Waste Management*, *28*(1), 215-225. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012

Li, T., Liang, C., Han, X., & Yang, X. (2013). Mobilization of cadmium by dissolved organic matter in the rhizosphere of hyperaccumulator Sedum alfredii. *Chemosphere*, *91*(7), 970-976. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.100

Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, *42*(3), 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

Marchand, C., Allenbach, M., & Lallier-Vergès, E. (2011). Relationships between heavy metals distribution and organic matter cycling in mangrove sediments (Conception Bay, New Caledonia). *Geoderma*, *160*(3-4),444-456. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.015

Masha, M., Belayneh, M., Bojago, E., Tadiwos, S., & Dessalegn, A. (2023). Impacts of land-use and topography on soil physicochemical properties in the Wamancho watershed, Southern Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100854. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100854

McBride, M., Sauve, S., & Hendershot, W. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, *48*(2), 337-346. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1997.tb00554.x

Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future*, 103-125. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7284-0_5

Molla, E., Getnet, K., & Mekonnen, M. (2022). Land use change and its effect on selected soil properties in the northwest highlands of Ethiopia. *Heliyon*, *8*(8), 10157. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10157

Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., & Neamatollahi, E. (2022). Spatio-temporal monitoring of groundwater changes on desertification intensity in agricultural areas in Dargaz plain, Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering*, *7*(21), 75-90. [In Persian] https://deej.kashanu.ac.ir/article_112660_en.html?

Ondrasek, G., & Rengel, Z. (2012). The role of soil organic matter in trace element bioavailability and toxicity. *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*, 403-423. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0634-1_22

Palansooriya, K. N., Shaheen, S. M., Chen, S. S., Tsang, D. C., Hashimoto, Y., Hou, D., ... & Ok, Y. S. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment International*, *134*, 105046. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046

Pansu, M. (2006). *Handbook of soil analysis*. Springer.

Peijnenburg, W. J. G. M., Baerselman, R., De Groot, A., Jager, T., Leenders, D., Posthuma, L., & Van Veen, R. (2000). Quantification of metal bioavailability for lettuce (Lactuca sativa L.) in field soils. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *39*, 420-430. https://doi.org/10.1007/s002440010123

Pour Hashemi, M. (1997). *Study of quality and quantity afforested species in Chitgar forest park*. Thesis of Msc in forestry field, Natural recourse faculty. university of Tehran. [In Persian]

Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., Ma, J., & Xiang, P. (2021). Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. *Chemosphere*, *267*, 129205. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129205

Qishlaqi, A., Moore, F., & Forghani, G. (2009). Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. *Journal of Hazardous Materials*, *172*(1), 374-384. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.024

Renella, G., Adamo, P., Bianco, M. R., Landi, L., Violante, P., & Nannipieri, P. (2004). Availability and speciation of cadmium added to a calcareous soil under various managements. *European Journal of Soil Science*, *55*(1), 123-133. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00586.x

Sheikhi Alman Abad, Z., Pirkharrati, H., & Mojarrad, M. (2021). Health risk assessment of heavy metals in the soil of angouran mineral processing complex in iran. *Pollution*, *7*(1), 241-256. https://doi.org/10.22059/poll.2020.311068.912

Shparyk, Y. S., & Parpan, V. I. (2004). Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, *130*(1), 55-63. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.030

Singh, K. P., Mohan, D., Sinha, S., & Dalwani, R. (2004). Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, *55*(2),227-255. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.050

Tanhan, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Chaiyarat, R. (2007). Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [Chromolaena odorata (L.) King &Robinson]. *Chemosphere*, *68*(2),323-329. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.064

Tao, Q., Hou, D., Yang, X., & Li, T. (2016). Oxalate secretion from the root apex of Sedum alfredii contributes to hyperaccumulation of Cd. *Plant and Soil*, *398*, 139-152. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2651-x

Tufa, M., Melese, A., & Tena, W. (2019). Effects of land use types on selected soil physical and chemical properties: The case of Kuyu District, Ethiopia. *Eurasian Journal of Soil Science*, *8*(2), 94-109. https://doi.org/10.18393/ejss.510744

Udo, E. J., Bohn, H. L., & Tucker, T. C. (1970). Zinc adsorption by calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, *34*(3), 405-407. https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400030018x

Wang, J. X., Xu, D. M., Fu, R. B., & Chen, J. P. (2021). Bioavailability assessment of heavy metals using various multi-element extractants in an indigenous zinc smelting contaminated site, southwestern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(16), 8560. https://doi.org/10.3390/ijerph18168560

Yang, S., Dong, Z., Zhu, B., Yan, X., Huang, J., Xie, X., ... & Ning, P. (2024). Feasibility and solidification mechanism study of self-sustaining smoldering remediation for copper and lead-contaminated soil. *Environmental Research*, *250*, 118498. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118498

Younas, N., Fatima, I., Ahmad, I. A., & Ayyaz, M. K. (2023). Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. *ActaEcologica Sinica*, *43*(3), 419-425. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.07.008

Zhang, T., Wang, P., Wang, M., Liu, J., Gong, L., & Xia, S. (2023). Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in riparian soils of the Tibetan plateau. *Environmental Research*, *237*, 116977. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116977

Zhu, Q., Ji, J., Tang, X., Wang, C., & Sun, H. (2023). Bioavailability assessment of heavy metals and organic pollutants in water and soil using DGT: A review. *Applied Sciences*, *13*(17), 9760. https://doi.org/10.3390/app13179760

Zinn, Y. L., de Faria, J. A., de Araujo, M. A., & Skorupa, A. L. A. (2020). Soil parent material is the main control on heavy metal concentrations in tropical highlands of Brazil. *Catena*, *185*, 104319. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104319